



# PROTOZOA

## *De trap af*

Je daalt tien treden af van een trap van golfbrekerstenen, meteen het door hoogtij vlakke, stilstaande water in. Tegelijk met de zwaartekracht neemt het geluid af en zodra je onder water verdwijnt wordt het licht zachtgroen. Je hoort alleen je eigen ademhaling nog.

Je bereikt al gauw een bontgekleurde en -gevormde sponzentuin. Sommige sponzen hebben de vorm van oranje bollen, meer dan een halve meter hoog, en groeien vanaf de zeebodem omhoog. Andere breiden zich zijwaarts uit, in een onregelmatige, hechte verpakking om alles wat ze tegenkomen heen. Tussen de sponzen groeit ook wat eruitziet als varens en bloemen, en leven *Ascidiozoa* of zakpijpen, vaalroze buisjes met aan de binnenkant emailpatronen. De buisjes doen denken aan de gebogen luchtkokers op het dek van grote schepen, met dat verschil dat deze alle kanten op gaan. Op de buitenkant leeft van alles, vaak zo verhard dat de zakpijpjes deel lijken uit te maken van het landschap waar ze op groeien in plaats van dat ze zelf organismen zijn.

Maar zakpijpjes maken kleine beweginkjes, alsof ze slapen en half

voelen dat jij langskomt. Af en toe knakt zo'n buis een stukje en stoot hij, ogenschijnlijk schouderophalend en zuchtend, het water dat erin zit uit, en daar schrik ik altijd een beetje van. Het landschap komt tot leven en levert in het voorbijgaan commentaar.

Tussen deze zakpijpjes leven ook zeeanemonen en zachte koralen. Sommige koralen hebben de vorm van een boeket piepkleine handjes. Elk handje heeft de regelmaat van een bloem, maar dan wel een bloem die naar het omringende water grijpt. Ze ballen zich en gaan dan langzaam weer open.

Je zwemt door een soort woud, omringd door leven. In een woud komen de meeste dingen waar je op stuit echter voort uit een ander evolutionair pad, namelijk dat van de planten. In de sponzentuin zijn de meeste dingen die je ziet dieren. Het merendeel hiervan (allemaal, behalve de sponzen zelf) heeft een zenuwstelsel, een netwerk van stroomdraadjes door hun hele lichaam. Die lichamen leven en bewegen, grijpen en aarzelen. Sommige reageren bij jouw komst abrupt. Kalkkokerwormen zien eruit als aan het rif vastgemaakte plukjes oranje veren, maar in de veren zitten oogjes, die verdwijnen als je te dichtbij komt. Het is alsof je in het bos bent en de bomen hoesten en proesten, handen uitsteken en jou met onzichtbare ogen bekijken.

Tijdens dit langzaam bij de kust vandaan zwemmen zie je overblijfselen en aanverwanten van vroege vormen van dierlijke activiteit. Je zwemt niet door het verleden, want sponzen, zakpijpjes en koraal zijn allemaal dieren in het hier en nu, voortbrengsels uit dezelfde evolutionaire tijdsspanne als de mens. Je bevindt je niet tussen voorouders, maar je wordt omringd door verre neefjes, ver weg levende familie. De tuin om je heen bestaat uit de hoogste takken van één grote stamboom.

Verderop zit onder een richel een wirwar van klauwen en voelers: de rood-wit gestreepte kappersgarnaal. Zijn gedeeltelijk doorzichtige lichaam is hooguit zes centimeter lang, maar door de sprietten en

andere uitsteeksels heeft hij wel drie keer zoveel ruimte nodig. Dit is de eerste van de dieren die ik noemde die jou als voorwerp zien in plaats van op bewegingen in het licht of een massa te reageren. Weer wat verder, boven op het rif, ligt een octopus, uitgestrekt als een kat – heel goed gecamoufleerd – met verschillende armen uitgestrekt en andere gekruld. Dit dier bekijkt jou ook, opzichtiger dan de garnaal, en tilt zijn kop op wanneer jij voorbij zwemt.

### *Materie, leven en geest*

In 1857 bracht het Britse schip *Cyclops* iets naar boven uit de noordelijke Atlantische Oceaan. Het zag eruit als modder van de zeebodem. Men bewaarde het in alcohol en stuurde het op aan de bioloog T.H. Huxley.\*

Het goedje werd niet aan Huxley overgedragen omdat het zo bijzonder leek te zijn, maar vanwege een destijds grote, zowel wetenschappelijke als praktische interesse voor de bodem van de zee. De praktische belangstelling kwam voort uit de wens om telegraafkabels op de zeebodem uit te rollen. De eerste kabel waarmee een trans-Atlantisch bericht werd verstuurd dateert van 1858, maar de isolatie daarvan begaf het al na drie weken, zodat de berichten in zee verdwenen.

Huxley bekeek de modder, zag er enkele eencellige organismen en wat onbegrijpelijke ronde lichaampjes in en sloeg het spul vervolgens tien jaar op. Hij keerde ernaartoe terug met een betere microscoop. Dit keer zag hij schijfjes en bolletjes van onbekende herkomst, en daaromheen ook een slijmerige substantie, een ‘doorzichtige ge-

\* Achter in dit boek staan veel noten, die verwijzen naar bronnen of die wat dieper graven. Ze zijn gerangschikt met een paginaverwijzing en het fragment in de hoofdttekst waar de noot betrekking op heeft.

leiachtige materie'. Huxley opperde dat hij een nieuw soort organisme had ontdekt, een buitengewoon eenvoudige levensvorm. Zijn voorzichtige uitleg luidde dat de schijfjes en bolletjes de harde delen waren die de zelf ook levende geleiachtige substantie had aangeemaakt. Huxley noemde het nieuwe organisme naar de Duitse bioloog, tekenaar en filosoof Ernst Haeckel. De nieuwe levensvorm ging *Bathybius haeckelii* heten.

Haeckel was opgetogen, zowel over de ontdekking als de naamgeving. Hij had al lang betoogd dat zoiets als dit moest bestaan. Net als Huxley was Haeckel overtuigd van de juistheid van de evolutietheorie, die Darwin in 1859 in *Het ontstaan van soorten* had ontvouwen. Huxley en Haeckel waren in hun beider landen de belangrijkste propagandisten van Darwins theorie. Beiden verdiepten zich ook gretig in vragen waar Darwin, op een enkele korte passage na, bij uit de buurt was gebleven: de oorsprong van het leven en het begin van het evolutionaire proces. Was het leven op aarde één keer ontstaan, of vaker? Haeckel was ervan overtuigd dat een spontane wording van leven uit levenloze materie mogelijk was, en zich wellicht voortdurend voltrok. Hij accepteerde *Bathybius* als een fundamentele levensvorm, die wellicht grote delen van de diepe zeebodem bedekte; hij zag het als een brug of verbinding tussen het rijk van het leven en het rijk van dode, anorganische materie.

De traditionele opvatting over de organisatie van het leven, die al sinds de oude Grieken opgang deed, kende slechts twee levensvormen: dieren en planten. Alles wat leefde viel in een van die twee categorieën. Toen de Zweedse botanicus Carl Linnaeus in de achttiende eeuw een nieuwe manier van classificatie opstelde, introduceerde hij naast de planten- en dierenrijken een derde categorie, het 'koninkrijk der gesteenten', *Lapides*. Deze indeling in drieën zien we nog altijd terug in de vraag 'dier, plant of mineraal?'

In de tijd van Linnaeus kende men al de waarneming met de mi-

## PROTOZOA

croscop. De eerste krachtige exemplaren daarvan werden vanaf de jaren zeventig van de zeventiende eeuw ontwikkeld door de Nederlandse lakenkoopman Antoni van Leeuwenhoek. Linnaeus voegde een flink aantal kleine, met de microscoop waargenomen organismen aan zijn classificatie toe, en hij rangschikte ze in de groep dieren die hij ‘wormen’ noemde (de tiende editie van *Systema Naturae*, waarin hij voor het eerst naast planten ook dieren opnam, sloot hij af met de zogenaamde *Monas*: ‘lichaam slechts stip’).

Naarmate de biologie zich ontwikkelde dienden zich met name op microscopisch niveau nieuwe puzzels aan. Men was geneigd nieuwe vondsten aan een van beide zijden van de grens tussen planten (algae) en dieren (protozoa) te plaatsen. Maar soms was het lastig om te bepalen waar een schepsel bij hoorde, en zo nam het gevoel toe dat de standaardclassificatie tekortschoot.

In 1860 betoogde de Britse natuurwetenschapper John Hogg dat men beter de bestaande classificatie kon loslaten om een vierde rijk toe te voegen voor kleine organismen, die steeds duidelijker als eencelligen werden herkend en die plant noch dier waren. Hij noemde ze *Protoctista* en plaatste ze in een *Regnum Primegenum*, een ‘oerrijk’, dat naast de rijken van dieren, planten en mineralen bestond (Hoggs benaming *Protoctista* werd door Haeckel later ingekort tot het eigentijdse *Protista*). Hogg vond de grenzen tussen de verschillende levensrijken vaag, maar die tussen mineralen en het leven duidelijk.

De wirwar van categorieën die ik tot nu toe heb beschreven ging over leven, niet over de geest. De band was niet altijd even stabiel, maar er bestaat al heel lang een link tussen het leven en de geest. Meer dan tweeduizend jaar geleden ontwikkelde Aristoteles het idee dat de ziel het leven en de geest verenigt. De ziel is voor Aristoteles een soort macht die lichamelijke activiteiten stuurt, en hij bestaat in verschillende levende dingen in verschillende gradaties. Planten nemen voedingsstoffen op om in leven te blijven, en dat wijst op een soort

ziel. Dieren doen dat ook, en verder voelen ze hun omgeving aan en reageren ze erop, wat van een ander soort ziel getuigt. Mensen kunnen naast die twee vaardigheden ook redeneren, wat op een derde soort ziel wijst. Volgens Aristoteles gedragen zelfs levenloze voorwerpen zonder ziel zich overeenkomstig doelen en bedoelingen die ze naar hun natuurlijke plaats leiden.

De omverwerping van dit aristotelische beeld in de wetenschappelijke revolutie van de zeventiende eeuw omvatte een herschikking van deze verhoudingen. Hierbij hoorde een steviger ontwerp van het fysieke – de aanname van een mechanisch, oorzaak-en-gevolg-beeld van materie, met weinig of geen ruimte voor een bedoeling – en een verheffing, een vergeestelijking van de ziel. De ziel, die bij Aristoteles nog integraal in al het levende was, werd een ongrijpbaardere, meer intellectuele kwestie. Zielen konden ook door een goddelijke wil worden gered en boden dus een vorm van eeuwig leven.

Volgens de in deze periode buitengewoon invloedrijke René Descartes bestaat er een scherpe scheidslijn tussen het fysieke en het mentale, en is de mens een combinatie van die twee; we zijn fysieke én mentale wezens. Het lukt ons beide te zijn omdat de twee koninkrijken in een klein deel van onze hersenen contact met elkaar maken. Dit is het *dualisme* van Descartes. In zijn opvattingen ontbreekt het andere dieren aan een ziel, zij zijn zuiver mechanisch – een hond heeft geen gevoel, wat het dier ook overkomt. De ziel waarmee de mens zich onderscheidt is zelfs in de geringste mate niet meer aanwezig in dieren en planten.

In de negentiende eeuw, het tijdperk van Darwin, Haeckel en Huxley, maakte de vooruitgang in de biologie en andere takken van wetenschap het dualisme van Descartes steeds onwaarschijnlijker. Het werk van Darwin duidde op een beeld waarin de scheidslijn tussen de mens en andere dieren minder scherp was. Diverse levensvormen en diverse geestelijke vermogens kwamen wellicht voort uit een

geleidelijk evolutieproces, met name waar het ging om adaptatie aan omstandigheden en de vertakkingen waaruit soorten ontstonden. Daarmee waren zowel lichaam als geest verklaard – als er maar een beginpunt was.

Dat was wel een groot voorbehoud. Haeckel, Huxley en anderen bedachten een antwoord voor dit deel van het probleem. Ze gingen uit van het bestaan van *spul*, dat in levende dingen aanwezig was en dat zowel het leven als een begin van een geest mogelijk maakte. Dit spul was tastbaar, niet bovennatuurlijk, maar heel anders dan gewone materie. Als ze dat konden isoleren kon je er een eetlepel van opscheppen, en dan was het op jouw lepel nog altijd dat speciale spul. Ze noemden het *protoplasma*.

Dit lijkt een merkwaardige aanpak, maar hij kwam onder andere voort uit een nauwkeurige bestudering van cellen en eenvoudige organismen. Als mensen in cellen keken, vonden ze daar onvoldoende organisatie – te weinig onderdelen die zich van andere onderdelen onderscheidden – om te kunnen doen wat cellen overduidelijk deden. Wat ze zagen leek niets anders dan een transparante, zachte substantie. De Engelse natuurkundige William Benjamin Carpenter schreef in 1862 vol bewondering over wat eencellige organismen allemaal konden: de ‘essentiële handelingen’ die in een dier ‘door een verfijnd systeem worden uitgevoerd’ worden hier uitgevoerd door ‘een klein stukje ogenschijnlijk homogene gelei’. Hij ziet het stukje gelei ‘voedsel vasthouden zonder ledematen, slikken zonder mond, verteren zonder maag’ en ‘van de ene plek naar de andere bewegen zonder spieren’. Dit verleidde Huxley en anderen tot de gedachte dat levende activiteit niet te verklaren kon zijn uit een verfijnde organisatie van gewone materie, maar dat er een ander, inherent levend ingrediënt nodig was: ‘organisatie komt voort uit leven, leven komt niet voort uit organisatie’

Tegen die achtergrond zag *Bathybius* er buitengewoon veelbelo-

vend uit. Het leek een heel zuiver voorbeeld van het spul des levens, spul dat wellicht overal spontaan opkwam en een zichzelf voortdurend vernieuwend diepzeetapijt vormde. Men onderzocht meer monsters. Aan *Bathybius* uit de Golf van Biskaje werd het vermogen toegeschreven dat het zich kon voortbewegen. Andere biologen waren minder overtuigd van deze vermeende oervorm van leven en de toenemende speculatie eromheen. Hoe bleef *Bathybius* daarbeneden in leven? Wat at hij zoal?

En toen was er de *Challenger*-expeditie, een vier jaar durend, in de jaren zeventig van de negentiende eeuw door de Royal Society of London georganiseerd project waarvoor honderden monsters van diepzeebodems overal ter wereld werden opgehaald. Het aanvaardelijke doel was een alomvattende inventarisatie van het leven in de diepste zeeën. De belangrijkste wetenschapper van de expeditie, Charles Wyville Thomson, wilde zich wel over de kwestie-*Bathybius* buigen, maar hij was behoedzaam. De *Challenger* vond geen nieuwe monsters, en twee van de wetenschappers aan boord kwamen al aanrommelend tot de slotsom dat *Bathybius* helemaal niet leefde, en daar zelfs niet bij in de buurt kwam. Ze toonden aan de hand van een reeks experimenten aan dat *Bathybius* niets anders was dan het resultaat van de chemische reactie tussen het zeewater en de alcohol waarin de monsters werden bewaard – ook het oude monster van Huxley van HMS *Cyclops*.

*Bathybius* was dood. Huxley erkende zijn fout onmiddellijk. Haeckel, die zich sterker aan *Bathybius* als de ontbrekende schakel had vastgeklampt, hield helaas nog tien jaar vol. De brug was echter ingestort. Later behielden sommige mensen toch de hoop op het bestaan van een vergelijkbare brug, een speciale substantie als verbinding tussen leven en materie. In de daaropvolgende jaren verdwenen dat soort inzichten geleidelijk. Daarvoor in de plaats kwam een langzaam proces van ontdekking, en dat proces zorgde er uiteindelijk



## PROTOZOA

voor dat de raadsels rondom activiteit van leven wegvielen. De daaruit voortkomende verklaring van het leven voltrok zich precies op de manier die Huxley en Haeckel niet hadden kunnen weerleggen: op basis van de verborgen organisatie van gewone materie.

Die materie is niet in alle opzichten 'gewoon', zo zal blijken, maar de primaire samenstelling ervan is dat wel. Levende systemen bestaan uit dezelfde chemische elementen als de rest van het heelal, en ze werken op basis van natuurkundige principes die ook in levenloze dingen van toepassing zijn. We weten tegenwoordig nog niet waar het leven begonnen is, maar de oorsprong is niet meer het soort raadsel dat ons ertoe brengt om te geloven in een of andere extra substantie waar het leven uit voortkomt.

Dit is de overwinning van een materialistische opvatting van het leven, een opvatting die geen ruimte voor bovennatuurlijke inmening duldt. Het is ook de overwinning van een opvatting waarin de fysieke wereld in zijn primaire onderdelen één geheel is. Levende activiteit wordt niet verklaard aan de hand van een geheimzinnig ingrediënt, maar op basis van een verfijnde structuur op minuscule schaal. Die schaal is nauwelijks te bevatten. Zo zijn ribosomen (de complexen waar eiwitmoleculen worden samengesteld) een belangrijk onderdeel van cellen, en zij hebben een tamelijk ingewikkelde structuur. Toch passen er al meer dan honderd miljoen ribosomen op de punt aan het eind van deze zin.

Het leven heeft dus zijn plek gevonden. Wat de geest betreft is het veel minder eenduidig.

### *De kloof*

Vanaf het laatste deel van de negentiende eeuw kreeg de revolutie van Darwin de wind steeds meer in de zeilen en werd het lastiger het

dualisme van mensen als Descartes vol te houden. Dat dualisme kent wel een zekere logica binnen een algemeen idee dat de mens een speciaal, uniek schepsel van de natuur is, op een of andere manier dicht bij God. Al het andere, levend of dood, kan dan zuiver materieel zijn, met alleen bij de mens een extra ingrediënt. Een evolutionair perspectief op de mensheid, waarin ruimte is voor continuïteit tussen onszelf en andere dieren, maakt het ingewikkeld, maar niet onmogelijk, om dualisme vol te houden. Het helpt bij het proberen om de geest op materiële wijze te bezien, op een wijze die denken, ervaringen en gevoel in fysieke en chemische processen verklaren. Het feit dat het leven zelf in zo'n materialistische behandeling wordt uitgelegd is bemoedigend, hoewel niet duidelijk is hoe dat eigenlijk helpt; we begrijpen niet echt wat de relatie is tussen het succes van materialisme in de biologie en de puzzels van de geest.

Als we weer naar de geschiedenis kijken kunnen we twee aparte routes onderscheiden die zich tot in het heden voortzetten. We zagen al dat Aristoteles planten, dieren en onszelf verschillende gradaties van ziel toedichtte. Wat wij 'geest' noemen is dan een natuurlijke verlenging, een logische versie, van levende activiteit. Die visie van Aristoteles was niet gestoeld op evolutie, maar het is niet zo moeilijk om haar in evolutionair perspectief te herformuleren. De evolutie van complex leven stimuleert, door de groei van opzettelijk handelen en gevoeligheid voor de omgeving, op natuurlijke wijze de geest. Descartes zag het leven en de geest echter als twee geheel verschillende dingen. Binnen die opvatting is er geen reden om te denken dat vooruitgang in begrip van het leven veel uitmaakt voor vraagstukken betreffende de geest.

De afgelopen ruwweg honderd jaar zijn de inzichten op dit gebied voornamelijk materialistisch geweest, maar in één opzicht zijn ze in de richting van Descartes opgeschoven. Sinds halverwege de twintigste eeuw begonnen theoretici afstand te nemen van de nauwe

band tussen de aard van het leven en die van de geest. Dit werd gestimuleerd door de opkomst van de computer. De manier waarop de computertechnologie zich sinds halverwege de twintigste eeuw heeft ontwikkeld, belooft een andere brug tussen het fysieke en het geestelijke, en die brug bestond uit logica in plaats van het leven. De nieuwe automatisering van de rede en het geheugen leek een betere stap voorwaarts. Naarmate systemen van kunstmatige intelligentie zich tegen het eind van de twintigste eeuw ontwikkelden, vertoonden sommige wel enige echte intelligentie, maar er was nog weinig reden om ze als levend te beschouwen. Dierenlichamen leken er weinig toe te doen – integendeel, ze werden volstrekt facultatief. Software werd de kern van de zaak. De hersenen draaien een programma, en dat programma draait weer op andere machines (of op andere dingen dan machines).

In deze jaren werd het probleem tussen mentaal en fysiek ook aangescherpt. ‘De geest’ maakte als puzzel plaats voor een specifiek raadsel. Het nieuwe inzicht luidt dat een deel van de geest tamelijk eenvoudig in materialistische bewoordingen kan worden uitgelegd, maar dat een ander deel weerbarstiger is. De weerbarstige kant is de subjectieve ervaring, oftewel het bewustzijn. Neem bijvoorbeeld het geheugen. We kunnen vaststellen dat verschillende dieren een geheugen hebben; ze leggen in hun hersenen sporen van het verleden aan en gebruiken die sporen als ze later moeten bepalen wat ze te doen staat. Het is niet zo moeilijk voorstelbaar hoe hersenen zoiets doen. Dat probleem is nu nog niet beantwoord, maar het lijkt alleszins oplosbaar; we moeten er alleen achter zien te komen hoe die kant van het geheugen werkt. Bij mensen geven bepaalde vormen van geheugen in elk geval ook een gevoel. Thomas Nagel zei in 1974 dat het er ergens op lijkt, en als iets voelt, om een geest te hebben. Het voelt als iets wanneer je je een goede ervaring herinnert, of een slechte. De ‘informatieverwerkingskant’ van het geheugen, het vermogen